CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

RAPPORT 83-16F

CORROSION DES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT
PARTIE I – DOCUMENTATION DE BASE
ÉLÉMENTS HISTORIQUES, TECHNOLOGIQUES, ÉCONOMIQUES ET STATISTIQUES

B. NEBESAR ET G.W. RILEY

FEB 21 1983
MICROMEDIA

24 pp

PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES MINÉRAUX
LABORATOIRES DES SCIENCES MINÉRALES

OCTOBRE 1983

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

85-2045/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue M38-13/83-16F
ISBN 0-660-91417-4

Canada: 2,50$
à l'étranger: 3,00$

Prix sujet à changement sans préavis
Available in English

CORROSION DES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT
PARTIE I
DOCUMENTATION DES ÉLÉMENTS HISTORIQUES, TECHNOLOGIQUES, ÉCONOMIQUES ET STATISTIQUES

par

B. Nebesar[a] et G.W. Riley[aa]

RÉSUMÉ

À cause de l'information présentée dans plusieurs rapports concernant les fibres d'amiante présentes dans l'eau potable, on a reconnu la nécessité d'une évaluation critique portant sur les causes de la corrosion de tuyaux en amiante-ciment et les possibilités d'empêcher l'échappement des fibres. On n'a pas encore répondu à la question du danger de l'ingestion de l'amiante trouvé dans l'eau potable. Le présent rapport offre des données de base sur l'histoire du mélange amiante-ciment et des tuyaux en amiante-ciment; sur la technologie qui comprend les matières brutes, la matrice amiante-ciment, les procédés de fabrication, spécifications, propriétés et emplois des tuyaux en amiante-ciment; et sur les données statistiques et économiques connexes. Le rapport vise donc à établir des rapports entre lecteurs de différentes disciplines et à fournir de l'information utile qui pourra aider à prendre des décisions. On cite des références dont les sources sont nord-américaines, européennes et australiennes.

---

[a]Chercheur scientifique, et [aa]gestionnaire, Laboratoire du traitement des minéraux, Laboratoires des sciences minérales, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, K1A 0G1.

ASBESTOS/CEMENT PIPE CORROSION
PART 1
HISTORICAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND STATISTICAL BACKGROUND

by

B. Nebesar* and G.W. Riley**

ABSTRACT

A critical evaluation of the causes of asbestos/cement pipe corrosion and possible prevention of release of asbestos fibres was required on the basis of information contained in several published reports on asbestos fibres in drinking water systems. The question, whether asbestos ingested with drinking water is harmful, has not yet been resolved. This report presents background information on the history of asbestos/cement and asbestos/cement pipe; on technology comprising raw materials, the asbestos/cement matrix, manufacturing processes, specifications, properties and uses of asbestos/cement pipe; and on related economic and statistical data. The aim is to help bridge the differences among readers from various fields and provide useful information on which to base decisions. References from North American, European and Australian sources are cited.

*Research Scientist, and **Manager, Mineral Processing Laboratory, Mineral Sciences Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, K1A 0G1.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUCTION	1
2. ANTÉCÉDENTS HISTORIQUES	1
2.1 L'amiante-ciment	1
2.2 Le tuyau en amiante-ciment	2
3. LA TECHNOLOGIE DES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT	3
3.1 Les matières premières	3
3.1.1 L'amiante	3
3.1.2 Le ciment	5
3.1.3 L'eau	6
3.2 La matrice amiante-ciment	6
3.2.1 La pâte aqueuse d'amiante-ciment	6
3.2.2 L'amiante-ciment anhydre	7
3.2.3 L'amiante-ciment hydraté	7
3.3 Les procédés de fabrication du tuyau en amiante-ciment	9
3.3.1 Le procédé Mazza-Mattei	9
3.3.2 Le procédé Magnani	10
3.3.3. Le procédé Dalmine	11
3.4 Les spécifications du tuyau en amiante-ciment	11
3.5 Les propriétés du tuyau en amiante-ciment	11
3.6 Les emplois du tuyau en amiante-ciment	11
4. DONNÉES ÉCONOMIQUES SUR LE TUYAU EN AMIANTE-CIMENT	12
5. DONNÉES STATISTIQUES SUR LE TUYAU EN AMIANTE-CIMENT	14
REMERCIEMENTS	16
RÉFÉRENCES	16
PERMISSIONS	18

LISTE DES TABLEAUX

N°	Page
3-1 Composition chimique des différentes variétés d'amiante	3
3-2 Propriétés des différentes variétés d'amiante	4
3-3 Propriétés de différentes fibres	4
3-4 Classification canadienne des amiantes chrysotiles	5
3-5 Teneur en chaux libre et résistance aux sulfates des ciments ordinaires et des ciments durcis en autoclave	9
4-1 Consommation mondiale apparente d'amiante par habitant	12

LISTE DES TABLEAUX (suite)

N°		Page
4-2	Consommation apparente d'amiante utilisé en 1981 pour tuyaux en amiante-ciment par rapport aux autres produits - États-Unis et le monde	12
4-3	Pourcentage de la consommation mondiale d'amiante utilisé pour fabriquer des produits en amiante-ciment pendant l'année 1981	12
4-4	Volume d'amiante traité par habitant, 1978	12
4-5	Valeurs types en dollars par tonne métrique de chrysotile québécois, en mai 1978	12
4-6	Coût de l'amiante par rapport à celui d'autres fibres	13
4-7	Coût relatif de l'énergie utilisée dans la production de matériaux à tuyaux	13
5-1	Répartition régionale des tuyaux en amiante-ciment en service au Canada en 1976	14
5-2	Ventilation des destinations finales des tuyaux en amiante-ciment en service au Canada en 1976	14
5-3	Proportion des marchés détenus par le tuyau en amiante-ciment au Canada, 1977	14
5-4	Proportion de tuyaux en amiante-ciment installée aux États-Unis, 1980	14
5-5	Matériaux présents dans les conduites principales des réseaux de distribution d'eau dans les pays de la Communauté économique européenne	15
5-6	Proportion de la population de la Communauté économique européenne utilisant de l'eau transportée dans des tuyaux en A/C	15

FIGURES

3-1	Différence entre le chrysotile et la crocidolite	3
3-2	Diagramme triangulaire des compositions des ciments, laitiers et pouzzolanes	6
3-3	Représentation schématique de la fabrication de produits en amiante-ciment	8
3-4	Schéma de la machine Mazza de fabrication de tuyaux	9
3-5	Tuyau pression en amiante-ciment à la sortie de la machine de production	9
3-6	Durcissement en autoclave d'un produit en amiante-ciment	10
3-7	Coupe d'une machine Magnani de fabrication de tuyaux	10
4-1	Production et consommation mondiales d'amiante, 1979	13

1. INTRODUCTION

Il n'y a pas de vie sans eau. L'Organisation mondiale de la santé estime même qu'environ 25×10^6 personnes meurent chaque année de maladies causées par une eau sale ou inadéquate ou par le manque de moyens d'assainissement. Une eau potable sûre et des moyens simples d'assainissement, ainsi que la diffusion de renseignements fondamentaux sur l'hygiène sont peut-être plus importants pour la santé de la race humaine que la nourriture ou tous les perfectionnements de la médecine.

Pour ces raisons, l'Organisation mondiale de la santé a planifié avec soin et lancé, en novembre 1980, la "Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement" (1,2). L'objectif à atteindre avant 1990, est celui de convertir en réalité le rêve de "l'eau potable pour tous". Atteindre un tel objectif en dix ans, pour plus de 2×10^9 personnes, est une tâche immense d'ordre technique, financier et organisationnel impossible à réaliser.

Depuis l'invention de l'amiante-ciment (A/C) au début du siècle, l'utilisation de tuyaux à haute et basse pression en A/C s'est très largement répandue partout dans le monde pour les réseaux de distribution d'eau potable, d'évacuation d'eaux usées, de drainage et d'irrigation. Selon les estimations, il y avait en 1972 quelque $2,5 \times 10^6$ km de tuyau A/C installés dans le monde entier. Ce genre de tuyau a fait ses preuves comme l'un des plus fiables, économiques et techniquement adaptés, et donc, jusqu'à tout récemment, un des produits le plus largement acceptés.

Récemment, cependant, en raison des répercussions de l'amiante sur la santé, et notamment sur les passages respiratoires, le tuyau A/C a fait l'objet d'un examen critique très détaillé, tout comme les autres produits d'amiante. La prise de conscience du risque entraîné par la présence de l'amiante dans l'air s'est étendue au risque éventuel présenté par l'eau potable amenée dans des conduites A/C. Tandis que les médecins, environnementalistes et autres chercheurs poursuivent leurs investigations, on procède aussi à une réévaluation des propriétés techniques - et notamment de la corrosion - des tuyaux A/C.

Jusqu'à récemment le mécanisme de la corrosion, ou de la dégradation, des tuyaux A/C et les possibilités de libération de fibres d'amiante n'étaient pas bien compris. En outre, les cas occasionnels de corrosion dans les énormes réseaux qui desservent actuellement des millions de personnes étaient considérés comme un problème qui intéressait davantage les côtés technique et économique que la santé. Les risques pour la santé que présentent les fibres d'amiante libérées dans l'eau ont suscité dernièrement beaucoup de recherche visant à comprendre et à éliminer ce phénomène.

La partie 1 du présent rapport est un bref résumé historique de la technologie de l'amiante-ciment en général et du tuyau A/C en particulier. Les données économiques et statistiques présentées situent le problème.

La partie 2 examine les problèmes de la corrosion des tuyaux A/C et les améliorations récentes réalisées pour lutter contre leur corrosion.

2. ANTÉCÉDENTS HISTORIQUES

2.1 L'AMIANTE-CIMENT

L'amiante-argile a été le premier produit composite utilisé par l'homme. Son apparition remonte à environ 4000 ans (3,4). L'amiante-ciment est toutefois le premier fibrociment exploité à l'échelle industrielle (section 3.2).

À la fin du siècle dernier, des stocks abondants d'amiante apparaissent sur les marchés, en provenance de la Russie et du Québec. Partout les inventeurs essayent de s'en servir dans de nouvelles applications, mais sans beaucoup de succès. Bien que l'A/C soit connu depuis 1879*, ce n'est qu'en 1901 que Ludwig Hatschek s'en est servi pour lancer une industrie prospère de matériaux de construction dans son pays natal, l'Autriche-Hongrie. Il a inventé et breveté en

---

* Probablement un brevet des États-Unis.

Autriche (1901) la machinerie et le procédé fondés sur la machine de fabrication du papier, et mis au point les connaissances techniques nécessaires pour fabriquer et commercialiser à grande échelle un nouveau matériau de construction - la feuille de toiture en A/C.

Klos (5,6) et Huenerberg et Tessendorff (7) décrivent ces travaux de mise au point technique en détail. Ils mentionnent aussi de nombreuses tentatives pour faire échouer le brevet original.

Hatschek a travaillé l'amiante au début sur des machines pour les textiles. Plus tard, il a fabriqué de nombreux produits à base d'amiante, et a mélangé l'amiante à la pâte à papier, à l'asphalte ou au brai comme liants, et aux oxydes de zinc ou de magnésium. Il a finalement réussi à former des feuilles à toiture à partir de ce mélange dans une machine à pâte à papier. Les feuilles ont été imprégnées de chlorures ou de verre soluble après leur mise en forme. On en voit encore sur certains toits en Autriche.

Hatschek a finalement trouvé la solution lorsqu'il a commencé à utiliser du ciment Portland et de l'amiante dans l'eau. Les premiers essais ont échoué car la pâte épaisse utilisée dans la technique classique du ciment bloquait la machine, et exigeait des arrêts et des nettoyages fréquents. La décision d'utiliser une pâte claire d'amiante et de ciment dans un excédent d'eau a finalement résolu le problème.

À la mort de Hatschek, en 1914, on fabriquait une variété de produits en A/C selon son procédé humide dans plusieurs pays (section 3.3). À l'époque, comme aujourd'hui, les produits étaient destinés pour la plupart à l'industrie du bâtiment. Cossette et Delvaux (8) et Badollet (9) donnent la liste détaillée de plus de 3000 produits en A/C pour le bâtiment et mentionnent d'autres applications techniques des minéraux d'amiante. En 1913, on a inventé une méthode de fabrication de tuyaux sans soudure pour remplacer dans les réseaux à écoulement naturel, les tuyaux à section carrée fabriqués jusqu'alors laborieusement à la main à partir de plaques en A/C.

2.2 LE TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

La fabrication de tuyaux A/C a suivi rapidement les traces de la mécanisation des procédés de fabrication de plaques en A/C, mais les problèmes techniques étaient bien plus difficiles à résoudre. Klos (5), Huenerberg et Tessendorff (7) et Carrière (10) signalent qu'aux alentours de 1912, Mazza et Mattei avaient réussi en Italie à modifier la machine originale de type Hatschek afin de permettre la manufacture d'un tuyau sans joint en A/C. En 1913, à Gênes, la société d'intérêt public "Eternit" a obtenu un brevet pour la machine système "Mazza" et a commencé la production de ces tuyaux dans son usine de Casale Monferrato à proximité de Milan.

En 1913, on installe à Casale les premières conduites d'alimentation en eau comportant des tuyaux A/C. Des canalisations suivent peu après. En 1923, on utilise à Gênes des tuyaux A/C pour laver les rues avec de l'eau de mer qui aurait corrodé les tuyaux en métal. Le nom "Eternit" - qui associe à l'A/C une indestructibilité éternelle - révèle peut-être le plus clairement ce qu'on pensait alors du matériau.

En 1921, le tuyau A/C était déjà bien accepté en Europe. Le premier réseau de distribution d'eau a été construit en Allemagne en 1930 et aux Pays-Bas en 1931. Au Royaume-Uni, la production a débuté en 1928. En 1935, on avait déjà posé quelque 10 000 km de tuyaux A/C en Italie. En 1929, la Johns-Manville Corporation des États-Unis a acquis les droits de fabrication et de vente.

Malgré l'invention des différents autres types de machines pour la fabrication des tuyaux, le système "Mazza" est encore le plus utilisé aujourd'hui partout dans le monde. L'acceptation rapide et universelle des tuyaux A/C indique bien la mesure dans laquelle ce matériau représente une solution économique aux problèmes pressants de distribution d'eau et d'assainissement.

3. LA TECHNOLOGIE DES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT

3.1 LES MATIÈRES PREMIÈRES

3.1.1 L'amiante

L'amiante est un nom générique attribué généralement à un groupe de cinq minéraux de silicate fibreux: le chrysotile, la crocidolite, l'amosite*, l'anthophyllite et la trémolite. Les fibres sont faciles à séparer en brins d'un diamètre de quelques nanomètres. Le chrysotile est la variété asbestiforme de la serpentine; les autres "amiantes" sont des variétés asbestiformes de minéraux amphiboles.

Le tableau 3-1 donne la composition chimique des cinq minéraux d'amiante d'après Rosato (11) et le tableau 3-2, en résume les principales propriétés selon Eick (12).

Tableau 3-1 - Composition chimique des différentes variétés d'amiante* (11)

	Chrysotile %	Crocidolite %	Amosite %	Antho-phyllite, %	Trémolite %
SiO_2	37-44	49-53	49-53	56-58	51-62
MgO	39-44	0-3	1-7	28-34	0-30
FeO	0,0-6,0	13-20	34-44	3-12	1,5-5,0
Fe_2O_3	0,1-5,0	17-20	-	-	-
Al_2O_3	0,2-1,5	-	2-9	0,5-1,5	1,0-4,0
H_2O	12,0-15,0	2,5-4,5	2-5	1,0-6,0	0,5
CaO	Tr-5,0	-	-	-	0-18
Na_2O	-	4,0 à 8,5	-	-	0 à 9
$CaO+Na_2O$	-	-	0,5 à 2,5	-	-

*Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 2, New York et London, Interscience Publisher (1948).

Les fibres de chrysotile sont creuses, généralement soyeuses et très souples. Elles ont une teneur élevée en oxyde de magnésium et en eau. Les fibres d'amphiboles sont pleines, en général plus raides (moins soyeuses) et sont tenues pour moins souples. Une micrographie électronique reprise de Rutstein (13) illustre la différence d'aspect (fig. 3-1). Seule une très petite quantité de minéraux de serpentine et d'amphiboles se trouvent, dans des conditions géologiques particulières, sous la forme asbestiforme du minerai. Les variétés asbestiformes se trouvent dans les veines ou veinules à l'intérieur de la roche qui contient la variété commune, non asbestiforme, du minerai ou qui en est composée (14). Les fibres tendres et soyeuses de l'amiante sont souples au point où il est possible d'en filer des fils qu'on peut tisser. L'amiante a déjà été appelé "la soie du royaume des minéraux" (15). Les variétés d'amiante disponibles dans le commerce pour la fabrication des tuyaux A/C comprennent le chrysotile, la crocidolite (l'amiante bleu) et l'amosite. Le chrysotile représente 90 % de la

Fig. 3-1 - Différence entre le chrysotile et la crocidolite (13):
En haut, les fibres sinueuses et frisées du chrysotile, "amiante blanc", des environs de Globe en Arizona. Le diamètre des fibres est souvent inférieur à 0,0001 cm. En bas, les fibres droites de la crocidolite, "amiante bleu", de l'Afrique du Sud. L'épaisseur des fibres est à peu près semblable à celle du chrysotile, mais les fibres de crocidolite sont courtes et droites. (Photos de l'U.S.G.S.)

* Provenant des mines d'amiante de l'Afrique du Sud - le plus souvent il s'agit de cummingtonite-grunérite.

Tableau 3-2 - Propriétés des différentes variétés d'amiante (12)

Nom	Chrysotile	Crocidolite	Amosite	Trémolite	Anthophyllite	Actinolite
Système cristallin	Monoclinique	Monoclinique	Orthorhombique	Monoclinique	Orthorhombique	Monoclinique
Dureté Mohr	3,0-4,0	5,5-6,0	5,5-6,0	5,5-6,0	5,5	6,0
Masse spécifique, g/cm^3	2,3-2,5	3,4	3,0-3,3	2,9-3,1	2,9-3,2	3,0-3,2
Résistance aux acides	Très bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Très bonne
Résistance aux alcalis	Très bonne	Bonne	Modérée	Bonne	Bonne	Modérée
Tenue à la chaleur	Bonne, fragile aux températures élevées	Bonne	Bonne, fragile aux température élevées	Bonne, fragile aux tempéra ture élevées	Très bonne	-
Point de fusion (en °C)	1550	1250	1450	1350	1490	1390
Résistance à la traction (en kg/cm^2)	5600-10 000	6000-22 000	1000-6300	75-560	100-400	50-300

production mondiale d'amiante, dont environ 70 % sont destinés à la fabrication de produits en A/C, y compris les tuyaux.

En ce qui concerne le tuyau A/C, les ouvrages suivants sont des références générales particulièrement utiles: 5, 7-9, 11, 16-25.

Pour la fabrication de produits en A/C, la teneur en poussières, le comportement au cours de la filtration, la superficie et le diamètre des fibres sont des propriétés particulièrement importantes. Le tableau 3-3 tiré de Huenerberg et Tessendorff (7) fait ressortir les caractéristiques exceptionnelles du chrysotile par rapport à plusieurs fibres naturelles et artificielles.

Tableau 3-3 - Propriétés de différentes fibres (7)

Genre de fibre	Diamètre (en mm)	Nbre de fibres par mm	Superficie des fibres (en cm^2/g)
Nylon	0,0075	132	3 100
Acétate	-	-	3 800
Coton	0,01	100	7 200
Soie	-	-	7 600
Laine	0,02 à 0,0275	36 à 50	9 600
Viscose	-	-	9 800
Chrysotile	0,000018 à 0,000029	34 000 à 56 000	130 000 à 220 000
Cheveu humain	0,0395	25	-
Ramie	0,0246	40	-
Verre	0,0065	153	-
Laine de laitier	0,00355 à 0,0071	141 à 282	-

Les fibres d'amiante se prêtent particulièrement bien à la préparation de produits de ciment, à cause de leur grande résistance aux alcalis. Leur résistance élevée à la traction et leur souplesse, permettent la préparation des fibres par les procédés plutôt brutaux de broyage et de défibrage nécessaires avant la fabrication de l'A/C.

Dans l'Occident les fibres d'amiante sont classées pour le commerce principalement selon le système canadien de classification de l'amiante chrysotile. Il existe cependant des classifications spéciales pour la crocidolite de l'Afrique du Sud et l'amosite de l'Afrique du Sud.

Tableau 3-4 - Classification canadienne des amiantes chrysotiles (8)*

Classe	Désignation standard ou qualité commerciale	Description
AMIANTE BRUTE		
Groupe n° 1	Brut n° 1	- Essentiellement constitué de faisceaux de 3/4 po et plus de longueur.
Groupe n° 2	Brut n° 2	- Essentiellement constitué de faisceaux compris entre 3/8 po et 3/4 po.
	Brut tout-venant	- Essentiellement constitué des deux bruts précédents non classifiés.
	Brut divers	- Constitué par d'autres catégories de bruts.

AMIANTE USINÉ		Essai minimum garanti à l'expédition (en onces)			
Classe	Désignation standard des classes	2-M°°	4-M°°	10-M°°	Plat
Groupe n° 3	3F	10,5	3,9	1,3	0,3
	3K	7,0	7,0	1,5	0,5
	3R	4,0	7,0	4,0	1,0
	3T	2,0	8,0	4,0	2,0
	3Z	1,0	9,0	4,0	2,0
Groupe n° 4	4A	0,0	8,0	6,0	2,0
	4D	0,0	7,0	6,0	3,0
	4H	0,0	5,0	8,0	3,0
	4J	0,0	5,0	7,0	4,0
	4K	0,0	4,0	9,0	3,0
	4M	0,0	4,0	8,0	4,0
	4R	0,0	3,0	9,0	4,0
	4T	0,0	2,0	10,0	4,0
	4Z	0,0	1,5	9,5	5,0
Groupe n° 5	5D	0,0	0,5	10,5	5,0
	5K	0,0	0,0	12,0	4,0
	5M	0,0	0,0	11,0	5,0
	5R	0,0	0,0	10,0	6,0
Groupe n° 6	6D	0,0	0,0	7,0	9,0
Groupe n° 7	7D	0,0	0,0	5,0	11,0
	7F	0,0	0,0	4,0	12,0
	7H	0,0	0,0	3,0	13,0
	7K	0,0	0,0	2,0	14,0
	7M	0,0	0,0	1,0	15,0
	7R	0,0	0,0	0,0	16,0
	7T	0,0	0,0	0,0	16,0
	7W	0,0	0,0	0,0	16,0
Groupe n° 8	8S	Poids en vrac inférieur à 50 lb/pi^3			
	8T	Poids en vrac inférieur à 75 lb/pi^3			
Groupe n° 9	9T	Poids en vrac supérieur à 75 lb/pi^3			

* Une norme métrique de conversion définitive a été approuvée à l'échelon du sous-comité mais n'a pas encore été acceptée pour usage général.
°°Mailles des cribles.

Outre l'essai normalisé du Québec, qui est un essai spécial de tamisage d'un échantillon de 454 g, un certain nombre d'autres méthodes d'essai et d'évaluation ont été mises au point. Cossette et Delvaux les décrivent en détail (8). La classification canadienne est donnée au tableau 3-4.

Une qualité type d'A/C serait une fibre équivalente à la qualité 4T, avec un minimum de -75 µm (-200 mailles) fraction et poussières. Il faut aussi satisfaire à d'autres exigences (9). Un taux élevé de filtration est particulièrement important.

On utilise pour la fabrication de tuyaux A/C un mélange de fibres de qualités et de genres différents, se composant en général de 80 % de fibre chrysotile et de 20 % de crocidolite ou d'amosite ou des deux, afin d'améliorer les propriétés de filtration.

3.1.2 Le ciment

La croissance rapide de l'industrie de l'A/C est due, selon Hannant, non seulement aux mérites de l'amiante mais aussi au fait que le ciment est un matériau de construction peu coûteux et facile à trouver partout dans le monde (19).

Il faut comprendre d'abord le comportement du ciment pour comprendre le processus de corrosion des matrices qui en contiennent.

Tout comme le terme amiante, le terme ciment est une appellation générique attribuée à des liants hydrauliques complexes, qui sont des mélanges de différents oxydes et de différents composés, ayant la propriété de faire prise et de durcir sans se désintégrer, même sous l'eau. Une description des caractéristiques et de la technologie du ciment est donnée par Helmuth et ses collaborateurs (26).

Dans le four rotatif utilisé pour le frittage, les réactions de l'oxyde de calcium avec les composants acidiques produisent différents clinkers de ciment, selon le mélange de matières premières et la régulation du procédé de frittage. La fabrication comprend aussi le broyage, le malaxage et l'ajout de différentes proportions de gypse, pour régler la prise.

Selon la notation du chimiste du ciment, les constituants les plus usuels du ciment s'abrègent ainsi:

CaO = C	MgO = M	K_2O = K
SiO_2 = S	SO_3 = $\overline{S}$	CO_2 = $\overline{C}$
Al_2O_3 = A	Na_2O = N	H_2O = H
Fe_2O_3 = F		

Les constituants les plus importants du ciment sont les oxydes de calcium, de silicium et d'aluminium, et l'oxyde magnétique de fer (III).

Le diagramme triangulaire tiré de Franquin et ses collaborateurs (fig. 3-2) est un schéma qui il- lustre les rapports entre ces constituants; l'alumine y est combinée avec l'oxyde de fer pour permettre la représentation en deux dimensions (27).

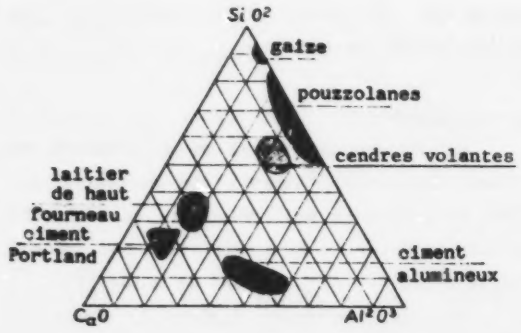


Fig. 3-2 - Diagramme triangulaire des compositions des ciments, laitiers et pouzzolanes (27)

Le diagramme donne la composition générale de différentes classes de ciment ou d'additions au ciment, qui servent à la fabrication de produits en A/C.

Les principaux constituants du ciment Portland, les plus utilisés, sont:

Nom de la forme impure	Notation du chimiste du ciment	Nom chimique
Alite	C_3S	Silicate tricalcique
Bélite	C_2S	Silicate bicalcique
C_3A	C_3A	Aluminate tricalcique
Ferrite	C_4AF	Alumino-ferrite tétracalcique
Anhydrite	$C\bar{S}$	Sulfate de calcium

Les deux premiers constituent environ 75 % du ciment.

Dans le cas des ciments alumineux, le constituant principal est l'aluminate de calcium (CA).

Dans le cas des ciments sursulfatés, le laitier de haut fourneau granulé représente environ 75 % et le sulfate de calcium additionné de ciment Portland ou de chaux complète le ciment.

La silice remplace jusqu'à 40 % du ciment dans certaines formules (procédé Morbelli ou hydrothermique).

3.1.3 L'eau

L'eau joue le rôle de véhicule de transport et de réaction dans la production de tuyaux A/C. Deux propriétés importent: la dureté et le pH.

Si l'eau est trop douce, c.-à-d. si elle contient trop peu de calcium et donc un anhydride carbonique "agressif", la corrosion commence avant même la fin de l'étape de production. Il y aura lixiviation des composés du calcium de la matrice de ciment. Klos spécifie une eau de dureté moyenne à dure, qui contient environ 100 mg CaO/L (5).

Si le pH de l'eau est faible, il y aura des acides qui vont dissoudre les constituants alcalins du ciment.

L'eau ne devrait pas contenir de matières organiques ni une proportion supérieur à 2 % de solides dissous, puisque ces conditions pourraient empêcher les réactions dans le ciment.

3.2 LA MATRICE AMIANTE-CIMENT

La matrice A/C est une pierre de ciment artificielle, renforcée de fibres d'amiante. Les deux constituants contribuent de façon synergique leurs propriétés au nouveau matériau ayant des caractéristiques améliorées. Pendant la fabrication du tuyau A/C, la matrice passe par trois phases différentes, dont chacune influe sur la résistance à la corrosion du produit final.

3.2.1 La pâte aqueuse d'amiante-ciment

L'amiante a une affinité exceptionnelle pour le ciment et une capacité exceptionnelle d'adhésion, même dans la pâte contenant plus de 90 % d'eau demandée pour le procédé humide. La phase sèche contient entre 15 et 20 % d'amiante, souvent de plusieurs variétés, et 80 à 85 % de ciment. Dans un procédé de traitement à l'autoclave (aussi le procédé hydrothermique ou Morbelli) (section 3.3.1), une farine de silice fine peut remplacer jusqu'à 40 % du ciment.

La capacité de filtration est une propriété importante que la pâte doit avoir. Puisque le chrysotile filtre moins facilement, depuis l'interdiction de la crocidolite on remplace jusqu'à 25 % de la teneur en amiante par une variété amphibole, principalement de l'amosite.

3.2.2 L'amiante-ciment anhydre

Dans le procédé on enlève l'eau jusqu'à ce que l'A/C n'en contient qu'environ 20 %. Malgré cela, l'amiante maintient sa flottabilité et porte une proportion élevée de ciment. La distribution homogène des fibres, liées dans la matrice, se maintient. Le rapport eau/ciment est maintenant $\leq 0,3$ et la prise et l'hydratation de la matrice d'A/C commencent. L'addition d'amphiboles à la matrice donne une masse volumique plus élevée et facilite la manutention à l'état humide du tuyau après la prise et avant le durcissement.

3.2.3 L'amiante-ciment hydraté

L'eau n'influe pas sur l'amiante. Il suffit donc d'examiner les réactions du ciment. Il y a trois types d'hydratation possible pour le tuyau:

- le durcissement normal par immersion dans l'eau pendant 28 jours;
- le durcissement à la vapeur (à la pression atmosphérique - peu usité);
- le durcissement à l'autoclave, utilisé principalement en Amérique du Nord et exigeant l'addition de silice.

Les deux procédés principaux diffèrent sensiblement selon les techniques, les constituants de la matrice A/C et peut-être la résistance du tuyau à la corrosion.

Les constituants du ciment sont instables en présence de l'eau, mais réagissent avec l'eau pour former des produits d'hydratation stables. Ainsi les cinq principaux composants se transforment au cours du durcissement à l'eau de la façon suivante:

C_3S, C_2S ⟶ gels de silicate de calcium hydraté (tobermorite), CSH-1 et chaux libre, $Ca(OH)_2$

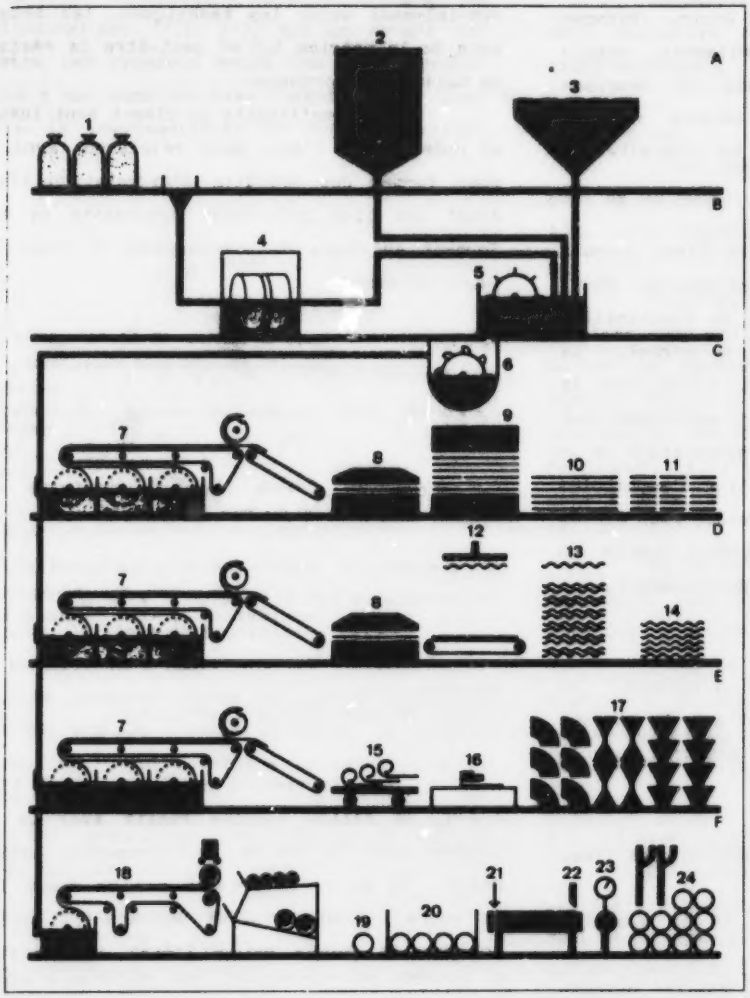
C_3A + $Ca(OH)_2$ ⟶ aluminate tétracalcique hydraté à $CaO.Al_2O_3.12\ H_2O$

C_4AF ⟶ cristaux mêlés d'alumino-ferrite hydraté $(Al_2O_3, Fe_2O_3).4\ CaO.12\ H_2O$

$C\bar{S}$ + aluminate ⟶ sulfoaluminate de calcium hydraté (ettringite) $3\ CaO.Al_2O_3.3\ CaSO_4.32\ H_2O$ appelé aussi: bacille de ciment; sel de Chandlot et Michaelis

ettringite ⟶ (se transforme en quelques heures) mono-sulfoaluminate de calcium hydraté $3\ CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12\ H_2O$

Dans le procédé de traitement à l'autoclave, la silice ajoutée réagit avec la chaux libérée pour former de la tobermorite additionnelle. Il ne reste presque pas de chaux libre. En outre, selon Marks et Hutchcroft, toute la tobermorite formée est à l'état microcristallin et possède par conséquent une résistance chimique élevée (28). Les résultats donnés dans le tableau 3-5 font état de la faible teneur en chaux et de la résistance accrue aux sulfates du produit obtenu.



30
Représentation schématique de la fabrication de produits en amiante-ciment (30).

A Matières premières
B Préparation pour la fabrication de
C Plaques planes
D Plaques ondulées
E Moulée
F Tuyaux

1 Amiante brute du Canada et de l'Afrique du Sud, livré à l'usine en sacs
2 Ciment Portland pompé dans les silos de l'usine à partir de conteneurs de chemin de fer
3 Eau de chaux saturée pour mélanger les fibres d'amiante et le ciment
4 Défibrage de l'amiante
5 Malaxage des fibres d'amiante et du ciment dans une grande quantité d'eau pour former une pâte aqueuse homogène
6 Du malaxeur, où la pâte d'amiante-ciment est constamment brassée, le mélange est acheminé dans les cuves à tamis des machines de production de plaques ou de tuyaux
7 Des rouleaux forment les couches d'amiante-ciment en feuilles d'une épaisseur de 3 à 20 mm
8 Taille des plaques humides sur la table de coupe selon la forme voulue
9 Compression des plaques humides pour façonner les éléments de toiture et de revêtement
10 Stockage pour durcissement
11 Stockage de bardeaux et de tuiles, coupés aux dimensions et formes voulues
12 Façonnage de plaques ondulées
13 Pose de plaques ondulées dans des moules huilés en acier
14 Stockage pour durcissement à l'air de plaques ondulées, en piles
15 Transport de plaques non prises, à l'atelier de moulage
16 Production d'articles de dimensions et de formes diverses avec des matrices différentes
17 Durcissement à l'air des articles moulés en amiante-ciment avant leur livraison
18 Un tapis roulant en feutre dépose couche après couche d'amiante-ciment sur le mandrin d'acier, jusqu'à ce que la paroi du tuyau atteigne l'épaisseur voulue
19 On enlève l'âme en acier quelques heures après l'opération
20 Immersion des tuyaux en amiante-ciment dans de grandes cuves d'eau, avant l'étape finale de fabrication
21 Coupe des tuyaux en amiante-ciment aux longueurs voulues
22 Calibrage des extrémités des tuyaux pour faciliter leur accouplement pendant la pose
23 Essai des tuyaux pression à la pression de service avant leur départ de l'usine
24 Stockage des tuyaux à l'air libre pour durcissement à l'air

Fig. 3-3 - Représentation schématique de la fabrication de produits en amiante-ciment (30)

Tableau 3-5 - Teneur en chaux libre et résistance aux sulfates des ciments ordinaires et des ciments durcis en autoclave (29)

Genre de durcissement	Proportion silice/ciment	Genre de ciment	Chaux libre (%)	Résistance aux sulfates: expansion (%)*
En autoclave, 125 lb/po² 16 h	0,6/1,0	I	0,4	0,03
		V	0,5	0,03
Normal, dans l'eau 28 jrs	0,6/1,0	I	15,5	0,16
		V	13,7	0,11

*Essai de résistance aux sulfates de l'U.S. Bureau of Reclamation) mesure l'expansion après 26 cycles.

La nature des produits d'hydratation provenant des deux autres phases, le C_3A et le C_4AF, formés dans des conditions hydrothermales, reste à tirer au clair selon Crennan et ses collaborateurs (29). On croit encore que le C_3A s'hydrate pour former du C_3AH_6, à petits cristaux cubiques. La ferrite pourrait former des solutions solides de chaux, d'alumine, de silice et de fer.

Selon Crennan et ses collaborateurs, il se produit dans les ciments alumineux spéciaux, des réactions additionnelles d'hydratation (29):

CA	durcissement normal	forme hexagonale métastable hydratée
	durcissement hydrothermique	forme cubique stable de C_3AH_6 (hypothétique) et alumine hydratée

L'hydroxyde de calcium ne fait pas partie des produits d'hydratation de ces ciments.

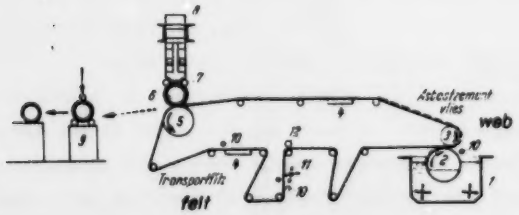


Fig. 3-4 - Schéma de la machine Mazza de fabrication de tuyaux (7):
1. cuve; 2. tamis cylindrique; 3. rouleau coucheur; 4. caisse à vide; 5. cylindre entraîneur; 6. mandrin; 7. rouleaux presseurs; 8. poutre de compression; 9. calandreuse; 10. atomiseur; 11. fouloire à feutre; 12. rouleaux presseurs à feutre.

Les produits d'hydratation des ciments sursulfatés sont principalement le sulfoaluminate de calcium et le silicate de calcium hydraté. Il n'y a pas d'hydroxyde de calcium non plus.

3.3 LES PROCÉDÉS DE FABRICATION DU TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Les procédés actuels de fabrication de produits d'A/C, y compris les tuyaux A/C, sont principalement fondés sur la machine originale de Hatschek et le procédé par voie humide. Les autres procédés sont le procédé semi-sec, le procédé par voie sèche et l'extrusion.

La figure 3-3 donne un schéma général des variantes du procédé par voie humide, accompagné d'une brève explication des principales opérations selon Shepherd (30) et Bradfield (18).

3.3.1 Le procédé Mazza-Mattei

Le schéma de la machine à tuyaux Mazza selon Huenerberg et Tonsendorff (7) est donné à la figure 3-4. La figure 3-5 est une photo des mandrins à tuyaux.

Fig. 3-5 - Tuyaux pression en amiante-ciment à la sortie de la machine de production (30)

Il y a trois brevets techniques principaux (tous à Mazza) qui ont finalement permis la production de grandes quantités de tuyaux A/C (5).

- Des mandrins échangeables qui s'insèrent dans un montage à déplacement latéral, pour remplacer la calandre originale de Hatschek;
- Des rouleaux presseurs supérieurs avec un feutre supérieur qui permettent la compression de la matrice d'A/C et l'enlèvement simultané de l'eau;
- Réglage automatique de la pression supérieure, permettant l'enroulement de tuyaux à parois plus épaisses et évitant la rotation du mandrin sous pression excessive.

Voici une brève description d'une machine type. Après une préparation convenable, la pâte d'amiante-ciment alimente la cuve (figure 3-4), où tournent un ou deux tamis cylindriques qui se couvrent de la pâte d'A/C. La couche d'A/C est transférée immédiatement à une bande porteuse en feutre en mouvement continu. L'excédent d'eau est enlevé par des caisses aspirantes. La couche partiellement essorée est transférée sur un mandrin en acier rotatif et échangeable, dont le diamètre correspond au diamètre intérieur du tuyau. Des rouleaux presseurs réglables exercent une pression additionnelle sur les couches et enlèvent encore de l'eau. La bande porteuse retourne chercher une nouvelle couche.

Selon le tuyau à fabriquer, l'épaisseur d'une couche peut varier de quelques dixièmes de millimètre jusqu'à environ ~1,5 mm et celle de la paroi multicouche du tuyau peut se situer entre ~8 et ~60 mm. Il faut entre 13 secondes et 6 minutes à une machine type, pour produire un tuyau. Les longueurs métriques de tuyau sont normalisées de 3 m, à 6 m et dépendent du mandrin utilisé.

Dans le procédé de traitement à l'autoclave (procédé hydrothermique), les tuyaux ne sont pas gardés sous l'eau après la prise pendant 28 jours, tel que l'indique le schéma général, mais sont hydratés en quelques heures sous pression élevée et à température élevée dans un autoclave (voir figure 3-6, Rosato (11)).

Fig. 3-6 - Durcissement en autoclave d'un produit en amiante-ciment (11)

3.3.2 Le procédé Magnani

La machine Magnani utilise une pâte semi-sèche. C'est un procédé beaucoup moins compliqué et donc plus économique qui convient aux faibles cadences de production. La figure 3-7, tirée de Klos (5), en illustre le principe.

La pâte est déposée entre le mandrin perforé couvert de tissu qui tourne lentement et le rouleau coucheur. La distance entre ces deux éléments est réglable graduellement pendant l'enlèvement de l'eau par aspiration appliquée au centre du mandrin. La paroi du tuyau est ainsi formée. Le calandrage et l'enlèvement du tissu complètent l'opération.

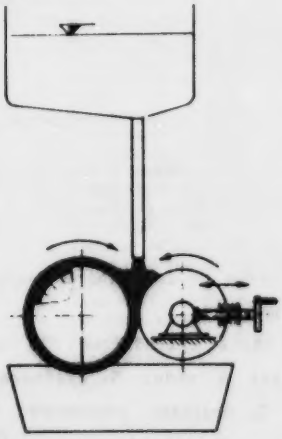


Fig. 3-7 - Coupe d'une machine Magnani de fabrication de tuyaux (5)

3.3.3 Le procédé Dalmine

Dans le procédé Dalmine plusieurs machines à cylindre étroit (~1250 mm) fonctionnant par voie humide sont installées en parallèle (11). Le tuyau est formé en plaçant la couche d'A/C sur un même mandrin tubulaire en spirale. Chaque couche successive recouvre partiellement la couche précédente. Le mandrin, placé à un angle par rapport à l'axe des machines, fait des passages en travers au cours du fonctionnement et s'enlève après le calandrage du tuyau à l'épaisseur désirée. Ce procédé complexe permet de fabriquer de longs tuyaux quelle que soit la largeur de la machine.

3.4 LES SPÉCIFICATIONS DU TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Il existe des normes pour les dimensions et les propriétés critiques des tuyaux aux échelons des organismes, des pays et des corps internationaux. Parmi les mieux connues citons les normes conjointes ASTM 296-78 et C 500-79a de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et de l'American Water Works Association (AWWA) (31,32), la norme allemande Deutsche Industrie Normen (DIN) 19800 (reproduite en (7)) et la norme correspondante de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

En ce qui concerne la corrosion, la norme DIN ne prévoit aucun essai ou directive chimique explicite, comme le fait la norme ASTM, relativement à la teneur permise en hydroxyde de calcium (maximum de 1 %) ou à la mesure de l'indice d'agressivité selon les applications.

D'autre part, l'ASTM ne précise pas de revêtements de protection contre la corrosion, tandis que la norme DIN les énumère, comme le font probablement les autres normes nationales européennes. La partie 2 du présent rapport est consacrée à ces deux questions.

Aucune norme ne prévoit encore une méthode pour la mesure de fibres d'amiante libérées éventuellement par la corrosion.

3.5 LES PROPRIÉTÉS DU TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Bradfield cite la durabilité et l'incombustibilité comme les propriétés les plus souhaitables de l'A/C. Il signale aussi les autres fonctions des fibres d'amiante dans l'A/C (18):

- armature du ciment
- protection contre le feu
- absorption de la chaleur produite par le frottement
- isolation contre la chaleur, le froid et le bruit
- isolation contre la condensation
- protection contre la corrosion
- amélioration des propriétés avec l'exposition

Une évaluation détaillée du tuyau A/C (20) attribue ses avantages aux particularités suivantes:

- la composition	- la très grande dispersion des fibres d'amiante, fortement liées au ciment; l'absence de corrosion électrochimique et d'oxydation;
- le procédé de fabrication	- la forte compression des monocoucher dans une masse homogène; l'hydratation du ciment dans des conditions réglées;
- la structure	- la capillarité extrêmement fine, interdisant la pénétration de fluides agressifs;
- la surface interne lisse	- réduit les dangers de cavitation, de dépôts et d'incrustations;
- le durcissement	- les propriétés mécaniques, la compacité, et la stabilité chimique continuent à s'accroître dans le temps.

Dans certaines conditions, le tuyau A/C peut se corroder. Les causes de la corrosion et les remèdes font l'objet de la partie 2.

3.6 LES EMPLOIS DU TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Le tuyau A/C a été utilisé avec succès pour une variété de fins, souvent dans des milieux agressifs. Les exemples suivants sont tirés de Huenerberg et Tessendorff (7), Shepherd (30), Marks et Hutchcroft (28), Sorès et Little (33):

- distribution d'eau (sous pression)
- égouts (gravité ou sous pression)
- agriculture - irrigation, drainage, fumier
- industrie - conduits pour fils téléphoniques, conduits pour câbles électriques, évents à gaz, conduits d'air, évents d'air, cheminées, drains industriels et drains pluviaux, vide-ordures, canalisations de chauffage urbain et géothermique, eaux acides et salées d'exploitation minière.

4. DONNÉES ÉCONOMIQUES SUR LE TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Tableau 4-1 - Consommation mondiale apparente d'amiante par habitant

Région	Consommation apparente (3%), $	Population*, en millions	Consommation apparente (en tonnes)	Consommation par habitant (en kg)
Canada	0,7	24,21	36 568	1,51
Communauté économique européenne (10 pays)	12,6	271,39	658 227	2,43
Japon	5,6	117,65	292 585	2,49
États-Unis	10,1	229,81	527 626	2,30
U.R.S.S.	40,5	267,70	2 115 729	7,90
Autres	30,5	3 597,24	1 593 327	0,44
Le monde	100	4 398	5 229 022	1,16

*World statistics in brief, 7th ed, United Nations, New York, 1983.

Tableau 4-2 - Consommation apparente d'amiante utilisé en 1981 pour tuyaux en amiante-ciment par rapport aux autres produits - États-Unis et le monde

	États-Unis (3%)		Le monde*
	tonnes	$	
Tuyau en amiante-ciment	160 000	40,0	70 $**
Produits pour recouvrement de planchers	100 200	25,0	10
Matériaux de frottement	49 120	12,0	7
Produits pour toitures	28 070	7,0	
Garnissages et joints d'étanchéité	12 030	3,0	3
Revêtements et composés	12 030	3,0	2
Isolants thermiques et électriques	8 000	2,0	
Panneaux et plaques en amiante-ciment	8 000	2,0	
Textiles	2 000	0,5	1
Plastiques	2 000	0,5	
Papier	500	moins de 0,1	5
Autres	20 050	5,0	2
	401 000	100,0	100

* Estimations d'Énergie, Mines et Ressources Canada qui excluent les pays de l'Europe orientale.

**Comprend tous les produits en amiante-ciment.

Tableau 4-3 - Pourcentage de la consommation mondiale d'amiante utilisé pour fabriquer des produits en amiante-ciment pendant l'année 1981*

Région	Amiante-ciment/ amiante (en %)
États-Unis	44
Europe**	63
Japon	72
Autres pays***	90
Le monde	70

* Estimations d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

** Sauf Royaume-Uni et pays de l'Europe orientale.

***Principalement les pays en voie de développement.

Tableau 4-4 - Volume d'amiante traité par habitant, 1978 (36)

Région	kg	lb
Québec	6,8	15
États-Unis	3,0	6,6
Europe	3,2	7
Japon	2,8	6,2

Tableau 4-5 - Valeurs types en dollars par tonne métrique de chrysotile québécois, en mai 1978* (8)

Qualité	Valeur	Qualité	Valeur	Qualité	Valeur
Brut n° 1	3 000 $	4A	1 002 $	6D	332 $
Brut n° 2	2 295	4D	815	7D	216
3F	1 591	4T	719	7F	195
3K	1 353	5D	537	7K	136
3R	1 149	5K	537	7M	124
3T	1 043	5M	504	7R	114
3Z	1 023	5R	455	7T	112

*Le seuil de rentabilité pour l'extraction du minerai se situe à 9,00 $/t pour les mines à ciel ouvert et à 20,00 $/t pour les mines souterraines.

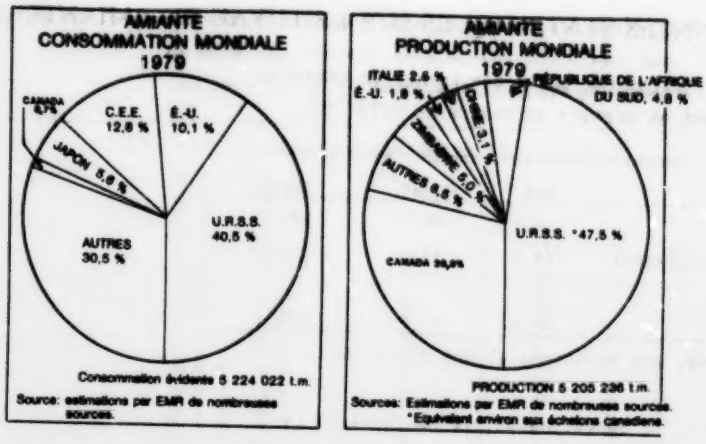


Fig. 4-1 - Production et consommation mondiales d'amiante, 1979 (34)

Tableau 4-6 - Coût de l'amiante par rapport à celui d'autres fibres (37)

Genre de fibre	Coût approximatif $/t	Coût approximatif $/m^3	Coût relatif
Amiante chrysotile	130	330	1*
Verre "E"	1 200	3 100	9,4
Verre "AR"	2 800	7 600	23**
Fibrilles de polypropylène	1 900	1 750	5,3
PRD-49	110 000	160 000	485
Acier	660	5 200	15,7
Acier inoxydable	3 300	26 000	79
Carbone	130 000	250 000	758

* Fondé sur le prix de l'amiante en 1973 au Royaume-Uni - d'environ ~ 6 p/kg (1,30 $/kg).

**Coût relatif en 1983: environ ~5.

Tableau 4-7 - Coût relatif de l'énergie utilisée dans la production de matériaux à tuyaux (19)

Matériau	Facteur coût par volume unitaire
Ciment	1
Plastique	5
Acier	22

5. DONNÉES STATISTIQUES SUR LE TUYAU EN AMIANTE-CIMENT

Tableau 5-1 - Répartition régionale des tuyaux en amiante-ciment en service au Canada en 1976 (33)

Catégories	Est (1)	Ouest (2)	Canada
Tuyaux sous pression	11,1	88,9	100,0
Autres tuyaux (principalement d'égouts)	64,0	36,0	100,0
Total	46,6	53,4	100,0

(1) Comprend le Québec, les Maritimes et une partie de l'Ontario.

(2) Comprend l'Alberta, la Saskatchewan, le Manitoba et la Colombie-Britannique.

Source: Sorès Inc., estimations

Tableau 5-2 - Ventilation des destinations finales des tuyaux en amiante-ciment en service au Canada en 1976 (33)

Catégories	Est	Ouest	Canada
Tuyaux sous pression	7,9	54,8	32,9
Autres tuyaux (principalement d'égouts)	92,1	45,2	67,1
Total	100,0	100,0	100,0

Source: Sorès Inc., estimations

Tableau 5-3 - Proportion des marchés détenus par le tuyau en amiante-ciment au Canada, 1977 (33)

Catégories	Proportion
Tuyau sous pression	18 %
Tuyau d'égout	22 %

Tableau 5-4 - Proportion de tuyaux en amiante-ciment installée aux États-Unis, 1980 (38)

Conduite principale de distribution d'eau $1,0 \times 10^6$ km		Tuyau d'égout $7,4 \times 10^5$ km	
Fonte	>75 %	Grès vitrifié	~66 %
Tuyau A/C, $1,3 \times 10^5$ km	13	Béton armé	6
		Tuyau A/C, 4×10^4 km	5,4
Acier	6		
Béton armé	4,6		
Plastique	1		

Tableau 5-5 - Matériaux présents dans les conduites principales des réseaux de distribution d'eau dans les pays de la Communauté économique européenne (39)

Pays	Genre de matériau (% du total)							
	Fonte grise (y compris à revêtement intérieur en bitume)	Fonte grise à revêtement intérieur en béton	Acier	Amiante-ciment	Béton (divers types)	PVC/polyéthylène	Autres	Remarques
Belgique	40	-	13	40	-	7	-	
Danemark	50	-	-	10	-	40	-	*
France	74	-	4	6	4	12	-	
République fédérale d'Allemagne	55	10	8	10	1	15	1	
République d'Irlande	41	-	3	30	2	24	-	*
Italie	2	-	80	15	-	3	-	*
Luxembourg	53	-	33	6	-	8	-	
Pays-Bas	27	-	4	46	1	22	-	
Royaume-Uni	71**	10	3	7	1	6	2	

* Valeur approximative

**Environ 45 % sont des tuyaux en fonte avec revêtement intérieur en bitume.

Tableau 5-6 - Proportion de la population de la Communauté économique européenne utilisant de l'eau transportée dans des tuyaux en A/C

Pays	Population* 1×10^6	Pourcentage de tuyaux en A/C dans les systèmes	Population, 1×10^6 utilisant l'eau venant de tuyaux en A/C
Belgique	9,86	40	3,944
Danemark	5,12	10	0,512
France	53,96	6	3,238
République fédérale d'Allemagne	61,67	10	6,167
République d'Irlande	3,44	30	1,032
Italie	57,20	15	8,58
Luxembourg	0,36	6	0,022
Pays-Bas	14,24	46	6,550
Royaume-Uni	55,83	7	3,908
Total	261,68		33,953 (~13 %)

*1981, données du UN World Statistics in Brief, 7th ed., New York, 1983.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier Asta Sokov de l'Informathèque du Programme de recherche sur l'amiante, de l'Université de Sherbrooke, à Sherbrooke (Québec) d'avoir fourni bon nombre des références; Kristina Nagy et Jean C. MacAulay de la Division de l'information technologique, CANMET, d'avoir donné suite avec efficacité à un nombre inusité de demandes de prêts entre bibliothèques.

RÉFÉRENCES

1. Anonyme "Decade dossier" Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement, 1981-1990; Programme des Nations Unies pour le développement, Division de l'information, en collaboration avec l'UNICEF et l'OMS: New York, N.Y., U.S.A.; 1980.

2. Agarwal, A. "A decade of clean water" (Une décennie d'eau potable); New Scientist 1980: 6 nov.: 356-359.

3. Hoff, G.C., Fontenot, C.M. et Tom, J.G. "Selected bibliography on fibre-reinforced cement and concrete" (Bibliographie choisie du fibrociment et du béton armé de fibres), Miscellaneous Paper C-76-6, juin 1976; U.S. Army Engineer Water-ways Experiment Station, CE, Vicksburg, MS, U.S.A.
Hoff, G.C. ibid. "Supplement 1 et Supplement 2" septembre 1977 and juillet 1979, respectivement.

4. Gilson, J.C. "Health hazards of asbestos" (Les risques de l'amiante pour la santé) Composites 3:2:57-59 (1972).

5. Klos, H.G., "Asbestzement - Technologie und Projektierung (Amiante-ciment - technologie et étude technique); Wien, Springer Verlag; 1967.

6. Klos H.G., "Properties and testing of asbestos fibre cement" (Propriétés et essais de l'amiante-ciment); Paper 6.1: In: RILEM Symposium 1975 on fibre reinforced cement and concrete; edit. A. Neville, Hornby, Engl.; The Construction Press Ltd.; 1975.

7. Huenerberg, K. et Tessendorff, H. "Handbuch fuer Asbestzementrohre" (Manuel des tuyaux en amiante-ciment); Heidelberg, Springer Verlag; 1977.

8. Cossette, M. et Delvaux, P. "Technical evaluation of chrysotile asbestos orebodies" (Évaluation technique des gisements d'amiante chrysotile); In: Mineralogical techniques of asbestos determination; R.L. Ledoux, editor; Short Course Handbook, Vol. 4; Mineralogical Association of Canada; mai 1979.

9. Badollet, M.S. "Physical properties and technical applications of asbestos minerals" (Propriétés physiques et applications techniques des minéraux d'amiante); CIM Bull 62:432-437; 1969.

10. Carrière, J.E. "Le comportement des tuyaux en amiante-ciment dans les sols agressifs" Centre Belge d'Étude et de Documentation des Eaux 277:530-533; 1966.

11. Rosato, D.A. "Asbestos - its industrial applications" (L'amiante - ses applications industrielles); New York, Reinhold Publishing Co.; 1959.

12. Eick, H. "Korrosionsfragen aus dem Transportwasser bei Asbestzementdruckrohren" (Problèmes de corrosion des tuyaux en amiante-ciment causés par l'eau transportée) Vom Wasser (Jahrbuch fuer Wasserchemie und Wasserreinigungstechnik) XXXVII, Band 1960, 288-305.

13. Rutstein, M.S. "Asbestos - friend, foe or fraud" (L'amiante - ami, ennemi ou fraude); Geotimes 27:4-23-27; 1982.

14. Campbell, W.Y. "Selected silicate minerals and their asbestiform varieties: mineralogical definitions and identification-characterization" (Quelques minéraux de silicate et leurs variétés asbestiformes: définition minéralogique et identification), Bureau of Mines Information Circular IC 8751; Washington, D.C. USA; United States Department of the Interior; 1977.

15. Anon. "Justice to the 'silk' of mineral kingdom - asbestos" (Justice à la soie du royaume des minéraux - l'amiante); Asbestos Bull Special issue 20:(2) mars-avril; 1979.

16. Sokolov, P.N. "Tekhnologiya asbestotsementnykh izdelii" (Technologie des produits en amiante-ciment); Moskva, Stroiizdat; 1968.

17. "Asbestos" (L'amiante); Review 1972/2: 1-31; Balse, Switzerland; Ciba-Geigy Ltd.

18. Bradfield, R.E.N. "Asbestos: review of uses, health effects, measurement and control" (L'amiante: emplois, effets sur la santé, mesure et contrôle); Epsom, Surrey, England; Atkins Research and Development; 1977.

19. Hannant, D.J. "Fibre cement and fibre concretes" (Fibrociments et bétons armés de fibres); New York; J. Wiley & Sons; 1978.

20. Anon. "Tuyaux en amiante-ciment en milieux agressifs" La Tribune CEBEDEAU 413:167-184; 1978.

21. Kolbasov, V.M. "Tekhnologiya asbestotsementnogo proizvodstva" (Techniques de production d'amiante-ciment); Moskva; Moskovskii Khimiko-Tekhnologicheskii Institut; 1979.

22. Anon. "Asbestzementrohre in aggressiven Medien - C.E.O.C.O.R. Studie" (Tuyaux en amiante-ciment en milieux agressifs - étude de CEOCOR); GWF, Das Wasserfach: Wasser/Abwasser 120:2:62-68; 1979.

23. Advisory Committee on Asbestos "Final Report" (Rapport final du comité consultatif de l'amiante); vol. 1 et 2; Health and Safety Commission; London; Her Majesty's Stationery Office; 1979.

24. Michaels, L. et Chissick, S.S. (Ed.), "Asbestos" (L'amiante), Vol. 1; New York, NY; Wiley-Interscience; 1979.

25. Ledoux, R.L. (Ed.), "Mineralogical techniques of asbestos determination" (Techniques minéralogiques pour la détermination de l'amiante); Short Course Handbook, Vol. 4; Mineralogical Association of Canada; mai 1979.

26. Helmuth, R.A., Miller, F.M., O'Connor, T.R. et Greening, N.R. "Cement" (Le ciment); Dans: Encyclopedia of Chemical Technology, Kirk-Othmer, 3rd. ed., Vol. 5, 163-193; Wiley-Interscience: New York; NY; 1979.

27. Franquin, J. "Action des eaux sur le béton et ses armatures métalliques" Dans: Neveux, Marc "La corrosion des conduites d'eau et de gaz - Causes et remèdes"; Ch. V, 202-229; Paris, Editions Eyrolles; 1968.

28. Marks, R.L. et Hutchcroft C.R. "Resistance of asbestos/cement pipe to corrosive soil conditions" (Résistance du tuyau en amiante-ciment dans les sels corrosifs); Water Wastes Eng 1968; juillet: 49-53.

29. Crennan, J.M., Simpson, J. et Parker, C.B. "Influence of cement composition on the resistance of asbestos/cement sewer pipes to H_2S corrosion" (Influence de la composition du ciment sur la résistance à la corrosion par H_2S des tuyaux d'égout en amiante-ciment); Corros Australas 5:1:4-5; 1980.

30. Shepherd, J.K. "Asbestos-based building and civil engineering products" (Produits en amiante dans le bâtiment et le génie civil); Review 1972:2:20-25, Basle, Switzerland, Ciba-Geigy.

31. ASTM, "Standard specification for asbestos/cement pressure pipe" (Spécification normalisée pour le tuyau sous pression en amiante-ciment); ASTM Designation 296-78; Dans: "1981 annual book of ASTM standards" Part 16; American Society for Testing and Materials; Philadelphia, PA.

32. Idem., ibid. C500-79a.

33. Anon. "Study of the oportunities of manufacturing asbestos products in Quebec" (Étude des possibilités de fabrication de produits en amiante au Québec); Vol. 1 et 2; Montréal, Québec and Cambridge, MA, U.S.A.; Sorès Inc. et Arthur D. Little; août et déc. 1977, respectivement.

34. Vagt, G.O. "L'amiante"; Annuaire des minéraux du Canada, 1980, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (Ontario) 1983.

35. Anon. "Product usage and projections" (Utilisation des produits et projections); Asbestos 63:9:14; 1982.

36. Anon. "The debate on manufacturing" (Le débat relatif à la manufacture); Bulletin, L'Association des mines d'amiante du Québec 2:5:1; 1978.

37. Johnston, C.B. "Fibre-reinforced concrete" (Béton à armature en fibres); Dans: Progress in concrete technology; V.M. Malhotra, editor; Division Report MRP/MSL 80-89(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1980.

38. Harben, P. "What's new after asbestos?" (Qu'y a-t-il de neuf après l'amiante?) Ind Miner (London) 156:51-59; 1980.

39. Zoetman, B.C.J. et Haring, B.J.A. "Introduction of chemical compounds into drinking water during distribution" (L'introduction de composés chimiques dans l'eau potable pendant la distribution); Report No. RID Mededeling-78-6; Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. The Hague, Netherlands, PB 81-150 641; NTIS; 1978.

PERMISSIONS

Les auteurs remercient les titulaires des droits d'auteur d'avoir bien voulu leur accorder la permission de reproduire les extraits mentionnés:

Asbestos, D&B Enterprises, Inc., Willow Grove, PA, USA (tableau 4-3)

L'Association des mines d'amiante du Québec (AMAQ) Québec, Canada (tableaux 4-4, 5-1, 5-2, 5-3)

Ciba-Geigy, Bâle, Suisse (figures 3-3, 3-5)

Cossette, M. et Delvaux, P. (tableaux 3-4, 4-4)

Geotimes et United States Geological Survey, Falls Church, VA, USA (figure 3-1)

Eyrolles éditions-librairie, Paris, France (figure 3-2)

Springer-Verlag, Heidelberg, République fédérale d'Allemagne (figure 3-4, tableau 3-2)

Springer-Verlag, Vienne, Autriche (figure 3-7)

Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, NY, États-Unis (figure 3-6, tableau 3-1)

SONDAGE

L'opinion des lecteurs intéressés peut influencer l'orientation future des recherches à CANMET.

Nous vous invitons, donc, à évaluer le rapport - n° _____

Est-il utile?	Oui____	Non____
Traite-t-il d'un problème de l'industrie?	Oui____	Non____
Le sujet est-il prioritaire?	Oui____	Non____

Commentaires _____

_____

_____

Postez à: Rédacteur de CANMET, EMR, 555, rue Booth,
Ottawa, Ontario, K1A 0G1

Une copie gratuite de la REVUE DE CANMET sera envoyée sur demande.

CANMET REPORTS

Recent CANMET reports presently available or soon to be released through Printing and Publishing, Supply and Services Canada (addresses on inside front cover), or from CANMET Publications Office, 555 Booth St., Ottawa, Ontario, K1A 0G1:

Les récents rapports de CANMET, qui sont présentement disponibles ou qui le seront bientôt peuvent être obtenus de la direction de l'Imprimerie et de l'Edition, Approvisionnements et Services Canada (adresses au verso de la page couverture), ou du Bureau de vente et distribution de CANMET, 555, rue Booth, Ottawa, Ontario, K1A 0G1:

83-2E McMaster, An Allogenic Massive Sulphide Copper Deposit, Bathurst Area, New Brunswick; J.L. Jambor;
Cat. No. M38-13/83-2E, ISBN 0-660-11377-5; Price: $3.25 Canada, $3.90 other countries.

83-2F Le gisement McMaster, un gisement de sulfure de cuivre allogène massif dans la région de Bathurst au Nouveau-Brunswick; J.L. Jambor;
Cat. No. M38-13/83-2F, ISBN 0-660-91158-2; Price: $3.25 Canada, $3.90 à l'étranger.

83-4E An Evaluation of Two Methods for the Determination of Indium in Ores, Concentrates and Zinc Processing Products by Flame Atomic-emission and Flame Atomic-absorption Spectrophotometry; Elsie M. Donaldson;
Cat. No. M38-13/83-4E, ISBN 0-660-11394-5; Price: $3.00 Canada, $3.60 other countries.

83-5E Industrial Minerals - Problem Areas and Opportunities; R.K. Collings and P.R.A. Andrews;
Cat. No. M38-13/83-5E, ISBN 0-660-11411-9; Price: $6.25 Canada, $7.50 other countries.

83-5F Problèmes et aspects favorables des minéraux industriels; R.K. Collings et P.R.A. Andrews;
Cat. No. M38-13/83-5F, ISBN 0-660-91251-1; Price: $6.25 Canada, $7.50 à l'étranger.

83-8E Alkalai Resistant Fibres - A Review; S.S.B. Wang;
Cat. No. M38-13/83-8E, ISBN 0-660-11542-5; Price: $3.25 Canada, $3.90 other countries.

83-8F Fibres résistantes aux alcalis: Étude documentaire; S.S.B. Wang;
Cat. No. M38-13/83-8F, ISBN 0-660-91293-7; Price: $3.25 Canada, $3.90 à l'étranger.

83-9E Radium 226 in Certified Uranium Reference Ores DL-1a, BL-4a, DH-1a and BL-5; C.W. Smith and H.F. Steger;
Cat. No. M38-13/83-9E, ISBN 0-660-11465-8; Price: $2.25 Canada, $2.70 other countries.

83-9F Radium-226 dans les minerais d'uranium de référence ores DL-1a, BL-4a, DH-1a and BL-5; C.W. Smith et H.F. Steger;
Cat. No. M38-13/83-9F, ISBN 0-660-91290-2; Price: $2.25 Canada, $2.70 à l'étranger.

83-10E TAN-1: A Certified Tantalum Reference Ore; H.F. Steger and W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/83-10E, ISBN 0-660-11504-2; Price: $2.50 Canada, $3.00 other countries.

83-10F TAN-1: Minerai de référence de tantale; H.F. Steger et W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/83-10F, ISBN 0-660-91291-0; Price: $2.50 Canada, $3.00 à l'étranger.

83-14E MP-2: A Certified Tungsten-molybdenum Reference Ore; H.F. Steger and W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/83-14E, ISBN 0-660-11541-7; Price: $3.00 Canada, $3.60 other countries.

83-14F MP-2: un minerai de référence certifié de tungstène-molybdène; H.F. Steger et W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/83-14F, ISBN 0-660-91285-6; Price: $3.00 Canada, $3.60 à l'étranger.

83-15E CANMET Review 1982-1983; Staff of Technology Information Division;
Cat. No. M38-13/83-15E, ISBN 0-660-11615-4; Price: $5.00 Canada, $6.00 other countries.

83-15F Revue de CANMET 1982-1983; Personnel de la division de l'information technologique;
Cat. No. M38-13/83-15F, ISBN 0-660-91278-3; Price: $5.00 Canada, $6.00 à l'étranger.

83-16E Asbestos/Cement pipe corrosion Part 1 - Historical, Technological Economic and Statistical Background; B. Nebesar;
Cat. No. M38-13/83-16E, ISBN 0-660-11557-3; Price: $2.50 Canada, $3.00 other countries.

83-20E Coal Mining in Canada: 1983; A.S. Romaniuk and H.G. Naidu;
Cat. No. M38-13/83-20E, ISBN 0-660-11616-2; Price: $6.00 Canada, $7.20 other countries.

POOR

QUALITY

ORIGINAL